# 臺灣主要蔬菜產區土壤微量要素供應狀況之研究[1]

## Ⅱ.銅、鐵、錳、鋅

李　子　純[2]

**摘要**　本研究之目的爲探討本省蔬菜產區土壤銅、鐵、錳、鋅之供應情形，以及此四種微量要素之有效抽取方法。選取全省主要蔬菜產區代表性土壤30種，在網室用塑膠盆盆栽蔬菜，以番茄爲指示作物，各盆肥料施用量相同（肥料均用純化學藥品），無微量要素處理，共重複4次。

土壤微量要素之抽出，曾以三種方法比較，即：(1) 0.1 NHCL, (2) 0.01M EDTA+1 M ammonium carbonate (PH8.6), (3) 1 N $NH_4OAC$ (pH 4.8)；微量要素與土壤性質（包括土壤 pH、有機質及粘粒含量）及微量要素吸收量與土壤性質之關係，均曾以單相關或複相關方法探尋。

土壤分析結果顯示，供試用土壤中此四種微量要素之含量除鋅之含量有部分地區較低外，其他銅、鐵及錳之含量均在一般文獻中 (4,6,11,14)，所定之臨界濃度以上；而植物分析結果更顯示除鋅外，其他三微量要素在葉片中之含量均偏高。又由此四種微量要素之吸收量及其以不同抽出法所測得之含量間之關係，顯示土壤中有效性鐵及錳之抽出，EDTA+ammonium carbonate 法較 0.1 N HCL 法爲佳，而銅及鋅之抽出則以 0.1 N HCL 法較佳。

由微量要素吸收量及其與土壤性質之關係發現，估計銅或鋅之吸收量應以 0.1 N HCL 自土壤中抽取之銅或鋅之含量與土壤 pH、有機物及粘粒含量等共同估計之，其準確性銅可達59%，鋅可達64%。錳則可單以土壤中 EDTA+ammonium carbonate 抽取性錳之含量估計之（準確性達74%）。至於鐵之吸收量，則以此等因素估計仍不够準確，而需以 EDTA+ammonium carbonate 抽取性錳及鋅之含量及 Fe/Cu. Mn/Zn 之比例等共同估計之（準確性亦爲74%）。

此四種微量要素與土壤性質之相關關係，顯示鐵之含量因土壤 pH 升高而減低；銅之含量隨粘粒含量增加而增高；鐵則反是。又銅及鋅之含量隨土壤有機物增加而提高。

又本試驗結果，顯示此四種微量要素在土壤中含量之高低，與番茄葉片中各該要素之含量並無一定相關關係。僅葉片中錳及鋅的含量可由土壤中各該要素含量之高低估計；銅及鐵在葉片中的濃度，需以此四微量要素在土壤中的濃度及其間的比例共同估計之。

本研究已進行三年，第一、二兩年爲探討本省蔬菜產區土壤中「硼」的供應狀況，結果已發表於中華農業研究24卷第1.2期。本年度爲第三年，係探討土壤中銅、鐵、錳及鋅的供應狀況。

## 試驗方法

一、土壤：供試用土壤爲全省蔬菜區代表性土壤，共30種，即本研究前兩年所用者。

二、溫室試驗：以番茄爲指示作物，植於塑膠盆內，每盆用土5公斤，依逢機區集法排列，共4區集，30種土壤，無其他處理。灌溉用水均用去礦水。本試驗自民國64 (1975) 年5月至65 (1976) 年1月共植番茄三作，每作自播種至收穫，生長期均爲2至3個月，均在番茄開花時即行收穫（因番茄微量要素缺乏症狀均出現在葉片）(12)。

三、室內分析：

（一）土壤一般性質分析：本年度所用土壤已供盆栽試驗兩年，兩年前試驗開始時各土壤一般性質已經詳細測定，故本年度試驗前自各盆中採集之土壤樣本，僅測定其 pH、有機質、有效性磷及鉀。

本研究承農復會之補助及國家科學委員會之獎助，研究之設計及土壤之選擇承林家棻、陳春泉二位技正指導，電腦統計程式承李蘭希技正設計，謹誌謝忱。

1. 試驗報告農試字第七七四號　2. 臺灣省農業試驗所技士

（二）微量要素分析：自土壤中抽取有效性微量要素之方法甚多，本試驗中採用三種較爲普遍及有效之方法，即：

（1）0.1 N HCL 抽出法：土壤：抽出液＝1：10，搖動時間爲40分鐘。

（2）0.1 M EDTA+1M ammonium carbonate (pH 8.6) 抽出法：土壤：抽出液＝1：2，搖動時間爲40分鐘。

（3）1 N $NH_4OAC$ (pH 4.8) 抽出法：土壤：抽出液＝1：4，搖動時間爲30分鐘。

由以上各法所得之土壤抽出液，經離心、過濾，再以原子吸光儀測定其中之銅、鐵、錳及鋅等含量。

本試驗中土壤微量要素之抽出，除鋅僅用兩種方法外，其他各要素均曾以上述三種不同方法抽出。此三方法所得結果間之相關關係，因元素不同而異，簡述如下：

銅　三種方法間任何兩種相關均達極顯著平準。

鐵　（2）與（3）法間之相關爲極顯著，其他方法間關係不顯著。

錳　（1）與（3）法間之相關爲極顯著，其他方法間關係不顯著。

由上述三要素以此三種不同抽取法所得結果間之關係，知任一要素以（3）法抽取所得結果均與（1）或（2）法所得結果成顯著相關關係，故在以後的相關關係計算中，即將（3）法所得結果省略。

鋅　（1）與（2）法間相關極顯著。

（三）植物分析：番茄植株收穫後，經去礦水冲洗，以 60°—70°C 烘乾24小時，再稱取其重量，葉片並經磨碎，裝入塑膠瓶中，供植物分析。分析項目包括 N. P. K. Ca. Mg. Cu. Fe. Mn 及 Zn 等。

四、統計分析：由土壤、植物分析結果及產量、吸收量等資料，以小型電腦計算其間之單相關及複相關關係。

## 試驗結果

一、土壤性質

（一）一般性質：供試土壤之一般化學性質及微量要素含量，列於表1.土壤 pH 自3.90至8.10，有機物含量自0.98%至3.55%，粘土 (Clay) 含量自3%至35%。

（二）微量要素含量：

1.銅：銅含量以（1）法 (0.1 N HCL) 抽出者在0.4至9.3 ppm 之間；（2）法EDTA+ammonium carbonate) 在3.0至13.8 ppm 之間；（3）法 (I N $NH_4OAC$) 則在0.2至1.58 ppm 之間。Fiskell[6] 以四種不同抽出法比較，認爲 pH 4.8, 1 N $NH_4OAC$ 法較適於一般性應用，且認爲以此法抽出之銅在 0.2 ppm 以下時，土壤可能缺 Cu, 若在 5 ppm 以上，則常有 Cu 的毒害現象發生。本試驗以同法抽出之銅在 0.2～1.58 ppm 之間，應屬適中範圍。

2.鐵：鐵含量以（1）法抽出者自 2～653 ppm；（2）法在 90～960 ppm 之間；（3）法在1.4～68 ppm 之間。Olson及 Carlson[11] 以 1 N $NH_4OAC$ (pH 4.8) 爲抽出液所定對鐵敏感作物之臨界濃度爲 2 ppm, 本試驗中所用土壤僅28號及30號其含鐵量（以同法抽出）在 1～2 ppm 間，其他土壤含鐵量均不低。

3.錳：錳含量以（1）法抽出者在 17～700 ppm 之間；（2）法在 9～140 ppm 之間；（3）法在 6～418 ppm 之間。Cox[4] 以 0.05 N HCL+0.25 N $H_2SO_4$ 爲抽出液，所定大豆需錳之臨界濃度爲 5～9 ppm。

4.鋅：本試驗中鋅含量曾以（1）及（2）法抽取，二法抽出量間之相關極佳($\gamma$=0.87**),

表 1. 供試土壤性質及微量元素含量

Table 1. Soil properties and extractable micronutrients of the experimental soils

| 試驗代號 | 採樣地點 | pH | O. M. (%) | Clay (%) | Extractable Fe 1* (ppm) | Extractable Fe 2* | Extractable Fe 3* | Extractable Mn 1 | Extractable Mn 2 | Extractable Mn 3 | Extractable Cu 1 | Extractable Cu 2 | Extractable Cu 3 | Ext. Zn 1 | Ext. Zn 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 臺北縣蘆洲鄉 | 5.40 | 1.48 | 29 | 310 | 210 | 8.0 | 213 | 140 | 166 | 3.7 | 5.4 | 0.54 | 8.2 | 6.3 |
| 2 | 臺北縣蘆洲鄉 | 5.65 | 2.92 | 21 | 528 | 428 | 27.2 | 104 | 68 | 145 | 9.5 | 13.8 | 1.58 | 29.0 | 23.0 |
| 3 | 臺北縣福安里 | 5.40 | 1.05 | 7 | 228 | 327 | 12.2 | 62 | 44 | 45 | 2.6 | 3.4 | 0.56 | 4.1 | 4.0 |
| 4 | 臺北縣板橋市 | 4.70 | 1.58 | 7 | 320 | 463 | 32.2 | 67 | 39 | 53 | 2.5 | 3.8 | 0.64 | 6.0 | 6.7 |
| 5 | 臺北縣江子翠 | 5.00 | 2.33 | 17 | 385 | 445 | 26.0 | 99 | 73 | 113 | 4.3 | 6.2 | 0.68 | 9.0 | 9.0 |
| 6 | 新竹縣竹北鄉 | 5.30 | 1.52 | 9 | 525 | 630 | 47.0 | 55 | 33 | 51 | 2.4 | 3.2 | 0.27 | 3.9 | 2.8 |
| 7 | 新竹縣竹北鄉 | 5.35 | 2.04 | 17 | 453 | 448 | 36.0 | 70 | 46 | 67 | 4.5 | 5.9 | 0.40 | 6.1 | 4.9 |
| 8 | 新竹縣竹北鄉 | 4.55 | 1.64 | 16 | 404 | 685 | 67.0 | 47 | 22 | 34 | 2.5 | 3.6 | 0.36 | 3.1 | 2.4 |
| 9 | 新竹縣竹北鄉 | 4.85 | 1.65 | 19 | 443 | 670 | 63.0 | 24 | 11 | 19 | 2.5 | 3.1 | 0.36 | 2.5 | 1.9 |
| 10 | 新竹縣竹北鄉 | 5.50 | 1.54 | 11 | 603 | 705 | 67.0 | 32 | 15 | 13 | 3.2 | 4.2 | 0.36 | 3.6 | 2.4 |
| 11 | 彰化縣永靖鄉 | 7.06 | 2.60 | 31 | 402 | 110 | 23.0 | 700 | 19 | 188 | 9.3 | 12.3 | 1.18 | 8.0 | 3.8 |
| 12 | 彰化縣埤頭鄉 | 7.60 | 2.69 | 35 | 89 | 125 | 28.0 | 587 | 23 | 319 | 4.8 | 9.2 | 0.90 | 6.2 | 4.2 |
| 13 | 彰化縣埤頭鄉 | 7.50 | 2.69 | 29 | 2 | 91 | 28.0 | 375 | 27 | 418 | 0.4 | 9.0 | 0.92 | 1.3 | 7.8 |
| 14 | 彰化縣溪湖鄉 | 7.50 | 2.76 | 11 | 483 | 228 | 14.2 | 166 | 12 | 55 | 6.3 | 6.2 | 0.56 | 5.6 | 3.4 |
| 15 | 彰化縣北斗鎮 | 7.05 | 2.43 | 29 | 215 | 130 | 4.4 | 314 | 29 | 109 | 6.9 | 9.6 | 0.58 | 7.2 | 2.0 |
| 16 | 彰化縣北斗鎮 | 7.50 | 2.06 | 7 | 455 | 163 | 20.2 | 179 | 13 | 60 | 6.0 | 6.1 | 0.70 | 11.2 | 5.5 |
| 17 | 雲林縣西螺鎮 | 6.70 | 1.65 | 7 | 344 | 388 | 3.2 | 124 | 74 | 38 | 3.8 | 4.2 | 0.30 | 5.7 | 3.6 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 雲林縣西螺鎮 | 5.45 | 1.40 | 11 | 445 | 770 | 20.2 | 71 | 53 | 64 | 3.9 | 4.9 | 0.38 | 3.1 | 2.4 |
| 19 | 雲林縣西螺鎮 | 7.10 | 1.57 | 13 | 393 | 355 | 4.4 | 106 | 70 | 28 | 3.8 | 4.4 | 0.31 | 4.2 | 2.0 |
| 20 | 雲林縣西螺鎮 | 3.90 | 2.25 | 9 | 483 | 950 | 30.0 | 49 | 29 | 34 | 5.0 | 8.3 | 0.58 | 4.0 | 4.6 |
| 21 | 屏東市三山里 | 7.30 | 1.93 | 27 | 413 | 315 | 5.6 | 144 | 96 | 19 | 8.1 | 9.0 | 0.72 | 7.4 | 3.9 |
| 22 | 屏東市泰和里 | 6.40 | 1.68 | 15 | 653 | 735 | 14.8 | 62 | 36 | 20 | 7.5 | 8.1 | 0.76 | 6.1 | 3.6 |
| 23 | 高雄縣仁武鄉 | 5.05 | 1.24 | 3 | 560 | 960 | 68.0 | 17 | 9 | 20 | 2.2 | 3.0 | 0.34 | 2.4 | 2.2 |
| 24 | 高雄縣仁武鄉 | 6.65 | 1.67 | 11 | 385 | 418 | 7.4 | 31 | 12 | 6 | 3.8 | 4.6 | 0.26 | 4.0 | 2.6 |
| 25 | 屏東縣九如鄉 | 5.75 | 3.55 | 23 | 595 | 780 | 21.6 | 46 | 20 | 17 | 6.6 | 8.5 | 0.43 | 6.0 | 5.1 |
| 26 | 臺南市安南區 | 7.50 | 1.53 | 18 | 540 | 177 | 57.0 | 379 | 23 | 124 | 4.0 | 3.8 | 0.60 | 5.5 | 2.7 |
| 27 | 臺南縣學甲鎮 | 6.05 | 1.74 | 12 | 403 | 383 | 5.4 | 125 | 63 | 40 | 3.3 | 4.0 | 0.22 | 4.9 | 3.2 |
| 28 | 臺南縣鹽水鎮 | 8.10 | 0.98 | 8 | 265 | 158 | 1.6 | 146 | 74 | 22 | 2.6 | 3.2 | 0.20 | 4.7 | 2.2 |
| 29 | 嘉義縣六甲鄉 | 8.00 | 1.38 | 24 | 383 | 90 | 5.4 | 274 | 30 | 38 | 3.4 | 3.5 | 0.32 | 5.2 | 1.3 |
| 30 | 臺南縣善化鎮 | 7.00 | 1.77 | 28 | 332 | 157 | 1.4 | 452 | 112 | 12 | 2.9 | 3.6 | 0.22 | 5.2 | 1.7 |
| 範圍 (Range) | | 3.90–8.10 | 0.98–3.55 | 3–35 | 2–653 | 90–960 | 1.4–68.0 | 17–700 | 9–140 | 6–418 | 0.4–9.3 | 3.0–13.8 | 0.20–1,58 | 1.3–29.0 | 1.3–23.0 |
| 平均 (Average) | | 6.25 | 1.91 | 16.8 | 391 | 416 | 25 | 171 | 43.8 | 78 | 4.4 | 5.9 | 0.54 | 6.11 | 4.37 |

1* Extracted with 0.1 N HCL

2* Extracted with EDTA+ammonium carbonate (pH8.6)

3* Extracted with 1 N $NH_4OAC$ (pH 4.8)

（1）法抽出者含量在 1.3～29ppm 之間，據莊作權氏[7]等以夏威夷土壤所作玉米之試驗，認為土壤中 0.1 N HCL 抽取性 Zn 在 3ppm 以下時，施 Zn 即能使大豆增產。本試驗用土中 0.1 N HCL 抽取性 Zn 在 3ppm 以下者有三（即土號 9、13、23）；（2）法抽出者含量在 1.3～23ppm 之間。Trierweiler 及 Lindsay[14] 以同法抽出，對玉米所定鋅之臨界濃度為 1.4～3.0ppm, 本試驗用土以此法抽取之 Zn 含量在 1.3～3.0ppm 之間者為數甚多，此等土壤在種植番茄時雖無缺 Zn 症狀，但施 Zn 是否能增產，有待繼續研究。

植物對微量要素之需要量，除因作物之種類及品種而不同外，更受氣候及土壤性質如 pH. 質地、有機物、磷、鐵、游離石灰及硫等含量之影響[5]，因而欲將土壤區分為缺乏或不缺乏之等級，實非易事。

二、土壤性質與微量要素之關係

土壤酸碱度（pH）、粘粒（Clay）及有機物（Organic matter）含量與可抽取性（EDTA + ammonium carbonate）銅、鐵、錳、鋅的相關關係列於表2.。

表 2. 土壤性質與微量要素之相關關係

Table 2. Correlation between soil properties and extractable micronutrients

| 關係<br>Relationship between | 相關係數<br>Correlation Coefficient | 迴歸方程式<br>Regression Equation |
|---|---|---|
| pH (X) and extractable Cu (Y) | 0.15 | |
| Fe | − 0.78** | Y=1439.15−165.62 X |
| Mn | − 0.01 | |
| Zn | − 0.25 | |
| Clay (X) and extractable Cu (Y) | 0.53** | Y=2.91+0.18 X |
| Fe | − 0.44* | Y=618.2−12.76 X |
| Mn | 0.17 | |
| Zn | 0.07 | |
| Organic matter (X) and ext. Cu (Y) | 0.76** | Y=3.52X−0.85 |
| Fe | − 0.001 | |
| Mn | − 0.26 | |
| Zn | 0.40* | Y=2.06+3.10 X |

* Significant at 5% level ** Significant at 1% level

表2.顯示土壤 pH 僅與可抽取性鐵呈極顯著負相關關係，與銅、錳及鋅的關係均不顯著。pH 與鐵的關係本極密切，按溶液中 pH 每升高一單位，其可溶性鐵即降低1000倍[8]，故土壤 pH 與可抽取性鐵必成負相關關係。

粘土含量與可抽取性銅成顯著正相關關係，與鐵則成顯著負相關關係，與錳及鋅的關係不顯著。Randhawa[13] 等曾以印度 Punjab 地區四十一種土壤，分析其全鋅、銅及鈷，發現土壤中坋粒及粘粒含量和與其中全鋅、銅及鈷成顯著正相關關係。

土壤有機物與可抽取性銅成極顯著，與鋅成顯著正相關關係，與鐵及錳的關係不顯著。此關係顯示以 EDTA 法抽出之銅及鋅主要來自與有機物結合者。Martens[9] 以 Virginia 土壤所作之研究發現 1 N HCL 抽取性銅與土壤有機物成正相關關係。Bandyopadhya[1] 等以 1 N $NH_4$

OAC 抽取印度稻田土壤，其土壤有機物與鋅亦成正相關關係。

三、植物體微量要素吸收量與土壤性質之關係（表3.）

表 3. 土壤性質與銅、鐵、錳、鋅吸收量之相關關係

Table 3. Statistical relationships among uptake of micronutrients and soil properties

| 因變數 Dependent Variable | 主變數 Independent Variable | 相關係數 Coefficients of Simple correlation | Standardized regression | Multiple correlation |
|---|---|---|---|---|
| Cu uptake | 0.1 N HCL extractable Cu | 0.49** | 0.32 | 0.77** |
| | % Clay | 0.41* | 0.10 | |
| | pH | 0.66** | 0.56 | |
| | % Organic matter | 0.32 | 0.06 | |
| Cu uptake | EDTA+ammonium carbonate ext. Cu | 0.44* | 0.32 | 0.75** |
| | % Clay | | 0.02 | |
| | pH | | 0.60 | |
| | % organic matter | | 0.02 | |
| Fe uptake | 0.1 N HCL extractable Fe | − 0.12 | | |
| Fe uptake | EDTA+ammonium carbonate ext. Fe | − 0.48** | − 0.27 | 0.53 |
| | % Clay | 0.35 | 0.14 | |
| | pH | 0.46* | 0.19 | |
| | % organic matter | 0.14 | 0.06 | |
| Mn uptake | 0.1 N HCL extractable Mn | − 0.21 | | |
| Mn uptake | EDTA+ammonium carbonate ext. Mn | 0.86** | 0.91 | 0.89** |
| | % Clay | − 0.05 | − 0.25 | |
| | pH | − 0.01 | 0.08 | |
| | % organic matter | − 0.34 | 0.01 | |
| Zn uptake | 0.1 N HCL extractable Zn | 0.72** | 0.71 | 0.80** |
| | % Clay | 0.06 | − 0.21 | |
| | pH | 0.30 | 0.37 | |
| | % Organic matter | 0.29 | 0.12 | |
| Zn uptake | EDTA+ammonium carbonate ext. Zn | 0.61** | 0.75 | 0.80** |
| | % Clay | | − 0.20 | |
| | pH | | 0.56 | |
| | % Organic matter | | 0.05 | |

* Significant at 5% level.  ** Significant at 1% level

由表3.之單相關關係，知土壤中鐵及錳以 0.1 N HCL 抽取者，與作物對各該要素吸收量之關係均不顯著，而以 EDTA 法抽取者則均達極顯著之相關；至於銅與鋅之抽取，則 0.1 N HCL 法較 EDTA 法爲佳，但在銅、鋅之吸收量與其各別之抽取量及土壤性質之複相關關係中，二法又無大差別。

銅吸收量與土壤中 0.1 N HCL 抽取性或 EDTA 抽取性銅、土壤 pH 及 Clay 含量均呈顯著之正相關關係，與土壤中有機物含量關係不顯著，四因素與銅吸收量之複相關係數達極顯著平準。由各因素之標準回歸係數，知四因素中影響最大者爲土壤 pH, 其次爲有效性銅、Clay 及 O. M. 含量對銅吸收量之影響較小。又二法抽取之銅及土壤 pH、 Clay、O. M. 含量四者與銅吸收量之複相關係數幾無差別。

鐵吸收量除與土壤中 EDTA 抽取性鐵成極顯著負相關關係外 ，與土壤 pH 成顯著正相關關係，與土壤中粘粒及有機物含量關係不顯著，此四因素與鐵吸收量之複相關係數爲0.53，未達顯著平準。

錳吸收量僅與土壤中 EDTA 抽取性錳成極顯著正相關關係，與土壤 pH 及土壤中粘粒、有機物含量關係均不顯著。四因素與錳吸收量間之複相關係數雖達0.89**，但由各因素之標準回歸係數知此關係主由 EDTA 抽取性錳造成。

鋅吸收量僅與土壤中 0.1 N HCL 抽取性及 EDTA 抽取性鋅成顯著正相關關係 ，與土壤其他性質關係不顯著，但四因素與鋅吸收量之複相關係數均爲0.80**，其中影響最大者爲土壤中的有效性鋅，其次爲土壤 pH。

表3.亦顯示作物錳收收量，可單以 EDTA + ammonium carbonate 自土壤中抽取之錳含量估計；而銅及鋅之吸收量則以土壤中各該要素抽取量與土壤 pH、粘粒及有機物含量等共同估計較爲可靠。鐵之吸收量則以此等因素無法估計，但可以銅、鐵、錳及鋅在土壤中之含量及其比例估計之，其複相關直線迴歸方程式爲：

$$\text{Fe uptake} = 0.99 - 0.01\ \text{Mn (ppm)} + 0.07\text{Zn (ppm)} - 0.006\ \text{Fe/Cu} + 0.17\ \text{Mn/Zn}$$

$$R = 0.86^{**}$$

## 四、葉片微量要素含量

番茄葉片銅、鐵、錳、鋅之含量範圍及其平均值列於表4.，表5.爲番茄產量與微量要素在土壤及番茄葉片中濃度之關係。

銅：據 Cannell [2] 對番茄葉片養分組成所作之研究，認其含銅量在 3.1～12.3ppm 時屬正常範圍。Chapman [3] 及 Mortvedt [10] 則認爲一般作物含銅量在 4ppm 以下時屬缺銅，在 5～20ppm 之間屬適中，超過 20ppm 可能會有毒害現象。由表4.本試驗中番茄葉片含銅量在 11～24ppm 之間，平均含量爲 19ppm, 似略偏高。 表5.亦顯示番茄產量與其葉片含銅量成顯著負相關關係；但土壤中含銅量與產量又成正相關之關係（本試驗中番茄葉片含銅與土壤中 EDTA 抽取性銅及 0.1 N HCL 抽取性銅含量間關係均不顯著）。 故銅之含量究屬偏高或否， 有待繼續研究。

鐵：依 Chapman [3]. 番茄上部葉片鐵含量在 93～115ppm 時可能缺鐵，在 107～250ppm 之間屬適中範圍。Mortvedt [10] 等綜合此方面許多研究者所得結果 ， 認爲乾物含鐵量在 50ppm 以下時可能缺鐵，在50至 250ppm 之間屬正常。Purvis 及 Carolus [12] 認爲正常植物組織中鐵含量應在 25～500ppm 之間， 因部位及植物種類而異。 至於鐵之毒害濃度則在自然環境中生長之作物尚無資料可據。本試驗中番茄葉片鐵之濃度在 265～890ppm 之間，雖未發現任何鐵之毒害現象，但應屬過高，表 5 中番茄產量亦確與鐵在土壤及葉片中濃度成顯著負相關關係。

錳：依 Chapman, 植於培養液中番茄葉片錳之濃度在 5～7ppm 以下屬缺乏範圍，正常濃度爲 70～398ppm。Chapman 並綜合許多研究者對多種不同作物所定錳在葉片中之濃度，認爲一般作物葉片含錳量在 20ppm 以下時屬缺乏，在 20～500ppm 時屬適中適圍， 至於錳之毒害濃度，尚無資料可據，但 Chapman 認爲 1,000ppm 以上時，植物生長應受影響。本試驗中番茄葉片含錳量在 41～1470ppm 之間，超過 1000ppm 者僅有兩個，雖無顯著毒害症狀，但表5.顯示產量確與葉片中錳含量成顯著負相關關係。

表 4. 番茄葉片銅、鐵、錳、鋅含量

Table 4. Copper, iron, manganese, and zinc concentration in tomato leaf (ppm)

| Copper | | Iron | | Manganese | | Zinc | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Range | Average | Range | Average | Range | Average | Range | Average |
| 11—39 | 19 | 265—890 | 438 | 41—1470 | 399 | 30—158 | 65 |

表 5. 番茄產量與微量要素在土壤及葉片中濃度之關係

Table 5. Relationship between yield of tomato and micronutrients concentration in plant and soil

| 因　變　數 Dependent Variable | 主　變　數 Independent Variable | 相　關　係　數 Simple correlation coefficient |
|---|---|---|
| Yield | Cu concentration in plant | − 0.44* |
| | EDTA+ammonium carbonate ext. Cu | 0.38 |
| Yield | Fe concentration in plant | − 0.46* |
| | EDTA+ammonium carbonate ext. Fe | − 0.73** |
| Yield | Mn concentration in plant | − 0.44* |
| | EDTA+ammonium carbonate ext. Mn | 0.07 |
| Yield | Zn concentration in plant | − 0.46** |
| | EDTA+ammonium carbonate ext. Zn | − 0.10 |

* Significant at 5% level　　** Significant at 1% level

鋅：Chapman [3] 及 Mortvedt [10] 均認爲對一般作物而言，其乾物含鋅量如在 20～25ppm 以下屬缺鋅，在 25～150ppm 之間屬適中範圍。雖鋅的毒害濃度尚未有定論，但在 400ppm 以上可能就有鋅的毒害情形發生。由表4. 知本試驗中番茄葉片含鋅量在 30～158ppm 間，應屬適中範圍，但表5.番茄產量仍與葉片中鋅濃度成負相關關係。

表6.爲土壤中 EDTA 抽取性 Cu. Fe. Mn. Zn 之濃度與番茄葉片中各該要素濃度間之關係。

表 6. 銅、鐵、錳、鋅在土壤中及葉片中含量之關係

Table 6. Relationship between micronutrients concentration in plant and soil

| 因　變　數 Dependent Variable | 主　變　數 Independent Variable | 相　關　係　數 Simple correlation Coefficient |
|---|---|---|
| Extractable Cu | Cu concentration in plant leaf | 0.20 |
| Fe | Fe concentration in plant leaf | 0.35 |
| Mn | Mn concentration in plant leaf | 0.69** |
| Zn | Zn concentration in plant leaf | 0.76** |

由表6.知葉片中錳及鋅的含量可由土壤中各該要素含量之高低估計；而銅及鐵的含量則無法以其在土壤中之含量估計，但可以土壤中此四微量要素之含量及其間之比例共同估計之，其複相

關直線迴歸方程式及相關係數如下：

鐵在葉片中之濃度 Fe (ppm) $=-427.94+45.55$Cu (ppm) $-14.83$Zn (ppm) $-2.73$ Fe/Cu$+5.34$ Fe/Zn$+8.98$ Mn/Zn$+391.59$ Zn/Cu

$R=0.83^{**}$

銅在葉片中之濃度 Cu (ppm) $=10.06+0.01$ Fe (ppm) $-0.08$ Mn (ppm) $+0.35$Zn (ppm) $-0.03$ Fe/Cu$+0.69$Mn/Zn$+2.81$ Zn/Cu$-0.26$ P/Cu

$R=0.89^{**}$

## Literature Cited


1. Bandyopadhya, A. K. and M. Adhikari. 1968. Trace element relationships in rice soils. 1. Alluvial soils of West Bengal. Soil Sci. 105 : 244—247.
2. Cannell, G. H., F. T. Bingham, and M. J. Garber. 1960. Effects of irrigation and phosphorus on vegetable growth and nutrient composition of tomato leaves. Soil Sci. 89 : 53～60.
3. Chapman, H. D. 1966. Diagnostic criteria for plants and soils.
4. Cox, F. R. 1968. Development of a yield response prediction and manganese soil test interpretation for soybeans. Agron. J. 60 : 521—524.
5. Cox, F. R. 1972. Micronutrient soil tests. In J. J. Mortvedt Micronutrients in agriculture. p. 289—317.
6. Fiskell, J. G. A. 1965. Copper. In C. A. Black et al. (ed. ) Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy 9, p. 1078—1089.
7. Juang, T. C., M. Isobe, G. Uehara. Test for Zinc in Sugarcane Soils of Hawaii. Agronomy. HSPA Serial no. 340, HAES Serial no. 1652.
8. Lindsay, W. L. 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In J. J. Mortvedt Micronutrients in agriculture. p. 44.
9. Martens, D. C. 1968. Plant availability of extractable Boron, Copper, and zinc as related to selected soil properties. Soil Sci. 106 : 23—28.
10. Mortvedt, J. J., P. M. Giordano, and W. L. Lindsay. 1972. Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Sco. of America. Inc.
11. Olson, R. V., and C. W. Carlson, 1950. Iron chlorosis of sorghums and trees as related to extractable soil iron and manganese. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14 : 109—112.
12. Purvis, E. R. and R. L. Carolus. 1964. Nutrient deficiencies in vegetable crops In H. B. Sprague Hunger signs in crops. p. 252—271.
13. Randhawa, N. S. and J. S. Kanwa. 1964. Zinc, Copper, and Cobalt status of Punjab soils. Soil Sci. 98 : 403—407.
14. Trierweiler, J. F. and W. L. Lindsay. 1969. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33 : 49—54.

# COPPER, IRON, MANGANESE, AND ZINC STATUS OF THE MAIN VEGETABLE GROWING SOILS IN TAIWAN

Tze-Shun Lee Wang

**Summary**

This study was carried out to investigate the status of copper, iron, manganese, and zinc of the main vegetable growing soils in Taiwan, as well as to evaluate a reliable method for extracting these micronutrients from soils.

Thirty representative soils selected from the main vegetable growing areas were used in a pot experiment in the greenhouse. The indicator plant was tomato. Plastic pots containing 5 kg. soil each were set up in 4 replications. Deionized water was used for irrigation. Reagent grade chemicals of $(NH_4)_2SO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$, and KCL were used as the fertilizers. There was no micronutrient treatment.

Three extractants were tested for assessing plant available copper, iron, manganese, and zinc. It was found that iron and manganese extracted with EDTA+ammonium carbonate were best correlated with plant uptake, While as for copper and zinc, 0.1 N HCL was the best extractant.

Relationships between extractable micronutrients and soil properties (soil pH, organic matter and clay content), uptake of micronutrients and soil variables were evaluated by simple and multiple correlation analysis.

From the correlation data it was found that the uptake of Cu was best predicted by the combination of 0.1 N HCL extractable Cu and soil properties ($R=0.77^{**}$), and so was the uptake of Zn ($R=0.80^{**}$). Mn uptake was significantly correlated with EDTA extractable Mn ($R=0.86^{**}$). The prediction of Mn uptake was not improved by inclusion of one or more of the soil properties. Fe uptake was best predicted by the combination of EDTA extractable Mn, Zn and the ratio of Fe/Cu, Mn/Zn ($R=0.86^{**}$).

Correlation data showed that the EDTA extractable Fe decreased with the increase in pH value. That the extractable Cu increased with an increase in clay content, and that both Cu and Zn increased with an increase in soil organic matter content.

Soil analysis data showed that except Zn, the contents of all the three micronutrients under study were more or less above the critical level as reported in the literature. Plant analysis data also showed that except Zn, the concentration of Cu, Fe, and Mn in tomato leaf were all higher than usual, especially that of Fe.